

学校编码: 10384

密级_____

学号: 22320131151371

廈門大學

硕 士 学 位 论 文

北部湾生态动力过程的模型分析研究

Study of NPZD Ecosystem Dynamical Model Application in
Beibu Gulf

郑艺妃

指导教师姓名: 潘伟然 副教授

专 业 名 称: 物 理 海 洋 学

论文提交日期: 2016 年 05 月

论文答辩时间: 2016 年 05 月

2016 年 05 月

厦门大学学位论文原创性声明

本人呈交的学位论文是本人在导师指导下，独立完成的研究成果。本人在论文写作中参考其他个人或集体已经发表的研究成果，均在文中以适当方式明确标明，并符合法律规范和《厦门大学研究生学术活动规范(试行)》。

另外，该学位论文为()课题(组)的研究成果，获得()课题(组)经费或实验室的资助，在()实验室完成。(请在以上括号内填写课题或课题组负责人或实验室名称，未有此项声明内容的，可以不作特别声明。)

声明人(签名):

年 月 日

厦门大学学位论文著作权使用声明

本人同意厦门大学根据《中华人民共和国学位条例暂行实施办法》等规定保留和使用此学位论文，并向主管部门或其指定机构送交学位论文(包括纸质版和电子版)，允许学位论文进入厦门大学图书馆及其数据库被查阅、借阅。本人同意厦门大学将学位论文加入全国博士、硕士学位论文共建单位数据库进行检索，将学位论文的标题和摘要汇编出版，采用影印、缩印或者其它方式合理复制学位论文。

本学位论文属于：

()1.经厦门大学保密委员会审查核定的保密学位论文，于
年 月 日解密，解密后适用上述授权。

()2.不保密，适用上述授权。

(请在以上相应括号内打“√”或填上相应内容。保密学位论文应是已经厦门大学保密委员会审定过的学位论文，未经厦门大学保密委员会审定的学位论文均为公开学位论文。此声明栏不填写的，默认为公开学位论文，均适用上述授权。)

声明人(签名)：

年 月 日

目 录

摘要.....	I
Abstract.....	III
第一章 引言.....	1
1.1 研究背景及意义.....	1
1.2 研究现状.....	3
1.2.1 北部湾自然环境概况.....	3
1.2.2 海洋生态动力学模型研究进展.....	5
1.2.3 北部湾生态动力学模型研究进展.....	8
1.3 研究内容和技术路线.....	10
第二章 北部湾生态要素的季节变化特征.....	12
2.1 北部湾生态动力学模型的构建.....	12
2.1.1 水动力模型.....	12
2.1.2 生态动力学模型.....	19
2.2 生态变量的平面、断面季节分布特征.....	21
2.2.1 平面分布特征.....	21
2.2.2 断面分布特征.....	33
2.3 不同区位的生态要素的年循环变化.....	39
2.3.1 叶绿素.....	40
2.3.2 无机氮.....	41
2.3.3 磷酸盐.....	42
2.4 本章小结.....	44
第三章 北部湾初级生产力与 f-ratio 的季节变化特征.....	46
3.1 初级生产力的季节变化特征.....	48
3.2 初级生产力的水平分布特征.....	50
3.3 f-ratio 的季节变化特征.....	52
3.4 本章小结.....	54

第四章 北部湾营养盐输运与收支分析	55
4.1 营养盐输运	56
4.1.1 琼州海峡营养盐输运	56
4.1.2 湾口营养盐输运	57
4.1.3 北部湾营养盐输运	58
4.2 营养盐循环收支	59
4.2.1 不同区块的营养盐收支情况	59
4.2.2 生物过程对营养盐循环贡献的季节变化	62
4.3 本章小结	63
第五章 总结与展望	65
5.1 主要结论	65
5.2 存在的不足与展望	66
参考文献	68
附录	75
附录 A: 三维水动力模型	75
附录 B: 北部湾 NPZD 生态模型	76
致谢	84

CONTENT

Abstract(Chinese)	I
Abstract (English)	III
Chapter 1 Introduction	1
1.1 Research Significance	1
1.2 Research Review	3
1.2.1 Natural Environment of Beibu Gulf	3
1.2.2 Overseas and Domestic Research Review of Marine Ecosystem Dynamic Model.....	5
1.2.3 Marine Ecosystem Dynamic Model Application in Beibu Gulf	8
1.3 Research Content and Technical Route	10
Chapter 2 Seasonal Variation Characteristics of Ecological Elements in Beibu Gulf.....	12
2.1 Building Marine Ecosystem Dynamic Model.....	12
2.1.1 Hydrodynamic Model.....	12
2.1.2 NPZD Ecosystem Dynamic Model	19
2.2 Seasonal Variation Characteristics of Ecological Variables	21
2.2.1 Horizontal Distribution Characteristics	21
2.2.2 Vertical Distribution Characteristics	33
2.3 Variation of Ecological Elements Annual Cycle in Different Regions	39
2.3.1 Chlorophyll-a.....	40
2.3.2 Inorganic Nitrogen.....	41
2.3.3 Phosphate.....	42
2.4 Chapter Summary.....	44
Chapter 3 Seasonal Variation Characteristics of Primary Production and f-ratio.....	46
3.1 Seasonal Variation Characteristics of Primary Production	48

3.2 Horizontal Distribution Characteristics of Primary Production	50
3.3 Seasonal Variation Characteristics of f-ratio	52
3.4 Chapter Summary	54
Chapter 4 Nutrient Transport and Budgets	55
4.1 Nutrient Transport	56
4.1.1 Seasonal Variation of Nutrient Transport in Qiongzhou Strait	56
4.1.2 Seasonal Variation of Nutrient Transport in Bay Mouth	57
4.1.3 Nutrient Transport in Beibu Gulf	58
4.2 Nutrient Budgets	59
4.2.1 Nutrient Budgets in Different Regions	59
4.2.2 Seasonal Variation of Contribution from Biological Process to Nutrient Budgets	62
4.3 Chapter Summary	63
Chapter 5 Summary and Prospect	65
5.1 Main Conclusion	65
5.2 Research Prospect	66
REFERENCE	68
APPENDIX	75
Appendix A: Introduction of Hydrodynamic Model	75
Appendix B: Introduction of NPZD Ecosystem Dynamical Model	76
Acknowledgement	84

摘要

北部湾是我国重要的海湾和渔场，被誉为我国“最后的洁净”，近年来在我国沿海经济发展的成就和潜力倍受关注，然而工业化、城镇化进程的持续加快，也给北部湾的生态环境带来了巨大压力。鉴于此，研究北部湾生态系统的时空分布特征及其对动力环境变化的响应过程具有重要意义，可为我国北部湾生态环境保护建设、资源管理开发和经济发展策略制定等提供科学参考依据。

本文在已建立的“北部湾三维水动力—NPZD 生态耦合模型”的基础上进行了进一步的拓展和应用研究，结合历年观测数据、卫星遥感数据和数值模型结果，在水动力模型考虑了更高精度的物理强迫条件，以日平均风场、热通量作为海表驱动，潮位、HYCOM 水位以及径流输入作为水边界驱动，并加入三维温度、盐度侧向通量驱动；在生态模型方面，采用 MODIS 月平均叶绿素 a 遥感数据和世界海洋图集 WOA2013 数据作为初始场和边界输入，以 2014 年为例，得到北部湾生态系统的年变化和分布特征，考虑不同海区的差异性，将其划分为 6 个研究区块，分析影响生态系统分布的关键区位以及关键时期的动力环境特征，进一步估算了北部湾的初级生产力和 f-ratio，并对营养盐的输运和循环收支进行分析。本文的研究结果表明：

冬季在强而均匀的东北季风的控制下，北部湾环流呈一个大的不闭合的逆时针结构；春季风向转型，环流整体上仍为逆时针方向；夏季在西南季风与南海环流的共同作用下，湾口存在一顺时针环流，而湾中、北部仍为逆时针环流，但流速有所减小；秋季也属季风转型期，湾中、南部流速较小且流向不规则，但环流整体上仍呈逆时针方向。琼州海峡月平均流终年向西，水通量秋冬季较大，春夏季较小，年平均水通量为 $0.08Sv$ 。

北部湾的生态系统受动力条件控制显著，在水平方向上，叶绿素 a 呈由东向西、由近岸向外海、由湾北部向湾中部和湾南部逐渐减小的分布特征；无机氮主要集中在湾北部，呈东部高西部低、近岸高外海低的分布特征；磷酸盐仅在径流入海口有较高值，近岸浓度高于外海，湾中部值最低。在垂向上，近岸水体混合充分，生态要素分布均匀；水深较大的外海，春夏季由于水体层化，出现中下层的叶绿素 a 浓度高于表层的现象，秋冬季水体垂向混合均匀，叶绿素 a 和营养盐

分布都较均匀。不同区位的叶绿素 a 和营养盐的年循环特征存在较大差异, 秋、冬季, 琼州海峡携带大量的粤西沿岸的高营养水体进入北部湾, 加上适宜的水温, 浮游植物大量繁殖, 琼州海峡西侧海域呈高叶绿素、高营养盐的分布; 夏季, 北部湾的营养盐主要来源于径流携带的陆源营养物质, 叶绿素 a 高值区在广西沿岸河口区与红河河口; 北部湾大部分区域浮游植物的生长受磷酸盐的限制, 只有海南岛西侧受限于氮盐; 琼州海峡是影响北部湾中、北部的关键区位, 其关键时期为秋季和冬季; 广西沿岸及红河河口是影响近岸的浮游植物生长的重要区位, 其关键时期为夏季。北部湾初级生产力年平均值约 $140\text{mgC}/(\text{m}^2\cdot\text{d})$, 冬季最高, 夏季最低, 水平方向上呈远岸高近岸低的分布趋势; 不同区块的初级生产力不论大小还是季节变化均有明显差异, 琼州海峡西侧海域的初级生产力最高, 近岸海域的初级生产力较低, 广西近岸和越南近岸的初级生产力最高值在秋季, 其他区域的初级生产力最高值在冬季; 初级生产力以再生生产力为主, 年平均 f-ratio 约 0.2。

琼州海峡 2014 年向北部湾年输入无机氮 $108.3\times 10^3\text{t}$, 磷酸盐 $3.7\times 10^3\text{t}$, 最大输运在 10 月; 经过一年的输运, 南海往北部湾的无机氮净输入 $66.6\times 10^3\text{t}$, 磷酸盐净输入 $4.6\times 10^3\text{t}$ 。生物过程相对于物理过程对北部湾的营养盐循环收支影响更大。浮游植物在营养盐更新中具有重要作用, 浮游植物光合作用吸收是营养盐最大的汇; 浮游植物因死亡或被捕食的细胞液释放是无机氮收支中最大的源, 可以补充光合作用消耗的 33.4% 的氮; 浮游植物呼吸作用释放是磷酸盐收支中最重要的来源, 可补充光合作用消耗的 32.4% 的磷; 河流营养盐输运是生态系统重要的外部输入, 对近岸海域影响较大, 对北部湾整体海域的贡献则相对较小; 在生物过程和物理过程共同作用下, 北部湾在 2014 年中氮增加了 $4.8\times 10^3\text{t}$, 而磷减少了 $0.4\times 10^3\text{t}$ 。

本文的研究成果与现场、遥感观测数据及前人的数模结果相比表明, 模型能较好地模拟出北部湾的水文动力特征、叶绿素 a 和营养盐的分布特征以及季节变化特征, 在量级上也与实测资料基本符合, 有助于北部湾海洋生物地球化学的进一步研究, 可为北部湾的渔业资源开发、海洋环境保护提供科学基础依据。

关键词: 北部湾; 生态动力模型; 初级生产力; 营养盐收支; 输运; 通量

Abstract

Beibu Gulf, honoured as ‘The Last Purity’, is one of the most important bay and fishery in China. While more and more attentions are focused on Beibu Gulf for its contribution to coastal economic development, the ecosystem is actually under immense pressure brought by accelerated industrialization and urbanization. Therefore, study about temporal and spatial characteristics of Beibu Gulf ecosystem and its response to dynamic environment changes has some reference meaning to eco-environmental conservation and construction, resources management development and economic development strategy.

In this thesis, further study is made based on an established coupled three-dimensional physical-biogeochemical numerical model in Beibu Gulf. In hydrodynamic model aspect, physical forcing condition has higher precision resulted from the combinations of years’ observation data, satellite remote sensing data and numerical model data: using daily mean wind field and heat flux data as surface forcing data; using tidal elevation, HYCOM sea surface elevation and runoff as water boundary condition; using 3D temperature and salinity flux in side boundary. In ecological model aspect: using MODIS monthly mean Chl-a remotely sensing data and WOA2013 data as initial field and boundary input. Annual variation and distribution characteristic of Beibu Gulf ecosystem (of 2014 year, in this thesis) were derived from the model results. The whole gulf was divided into 6 regions in consideration of the difference among areas, after which the study analysed the key region that affects ecosystem distribution and the dynamics features in key period, estimated primary production and f-ratio in Beibu Gulf and analysed nutrient cycle budget. The result shows that:

In winter, controlled by the strong and homogeneous wind, the circulation in Beibu Gulf presented a huge unenclosed counter-clockwise pattern. In spring, circulation overall pattern remained counter-clockwise in spite of changes in wind direction. In summer, influenced by the southwest monsoon and South China Sea (SCS) circulation, circulation was clockwise in the mouth but counter-clockwise in the middle and

northern areas with smaller current speed. In autumn, circulation overall pattern remained counter-clockwise in spite of changes in wind direction, yet with smaller current speed and irregular current direction in the middle and southern areas. In Qiongzhou Strait the monthly mean current kept westward through the whole year and the mass transport was bigger in autumn and winter than that in spring and summer, with annual mean water flux 0.08Sv.

The ecosystem in Beibu Gulf was under significant control from dynamic conditions. Horizontally, Chl-a concentration reduce gradually from east to west, from offshore area to open water, from northern area to middle and southern area; inorganic nitrogen mainly concentrated on northern area with a pattern that high in eastern and offshore area and low in western area and open water; phosphate concentration only had a slightly higher value in estuaries and decreased from offshore area, being lowest in middle area. Vertically, offshore water body was well-mixed and ecological elements were well-distributed; in open water where depth was much larger, concentration of Chl-a a) was lower in surface layer than layer below due to the water stratification in spring and summer; b) well-distributed in autumn and winter as the water body was well-mixed. There were large differences in characteristics of Chl-a and nutrient annual cycle among all regions. In autumn and winter, great amount of nutrient-rich water coming into Beibu Gulf from western Guangdong coastal area through Qiongzhou Strait, plus suitable water temperature led to phytoplankton bloom, causing high concentration of Chl-a and nutrient in western area of Qiongzhou Strait. In summer, most part of nutrient in gulf came from land sources brought by rivers and high value areas of Chl-a existed in estuaries along Guangxi coast and estuary of Red River. The growth of phytoplankton in most areas of Beibu Gulf was limited by phosphate, except those on the west of Hainan Island which was limited by nitric salts. For the middle and northern area in gulf, the key region was Qiongzhou Strait and the key periods were autumn and winter. For the growth of phytoplankton in offshore areas, the key regions were estuaries along Guangxi coast and estuary of Red River and the key period was summer. The annual average value of primary production in Beibu Gulf was about 140mgC/(m²·d), and seasonal average value was highest in winter and lowest in

summer with a trend that increased offshore. There were significant differences in the primary production among regions both in the aspect of quantity and seasonal variation. Primary production was highest in Qiongzhou Strait western areas, and lower in offshore areas. Except that peak of primary production near Guangxi province and Vietnam occurred in autumn, it occurred in winter in other areas. Primary production mainly consisted of regenerated productivity consisted. The annual average f-ratio was about 0.2.

In 2014, about 108.3×10^3 t inorganic nitrogen and 3.7×10^3 t phosphate were transported through Qiongzhou Strait into Beibu Gulf, most of which occurred in October. The annual net input from South China Sea into Beibu Gulf was 66.6×10^3 t for inorganic nitrogen and 4.6×10^3 t for phosphate. Biological process had more influence than physical process on the nutrient cycle budget. Phytoplankton played an important role in nutrients' refreshment: a) Absorption of photosynthesis was the biggest nutrient sink. b) Release of cell sap from dead phytoplankton was the biggest source in inorganic budget, making up for 33.4% of nitrogen consumed by photosynthesis. c) Release of respiration was the biggest source in phosphate budget, making up for 32.4% of phosphorus consumed by photosynthesis. d) Nutrient transport by river was the important external input to ecosystem, greatly influencing offshore areas but less to the whole area in gulf. Together, biological and physical process, in the whole 2014 year, led to a 4.8×10^3 t increase in nitrogen and a 4×10^3 t decrease in phosphorus in Beibu Gulf.

The comparison among model, in situ data, remote sensing data and other numerical model result shows the model is able to reappear the hydrodynamic and the biogeochemical characteristics in Beibu Gulf. The model results are reasonable in data magnitude. This study can do contribute to further biogeochemical study about Beibu Gulf and provide scientific basis for fishery resources exploitation and marine environmental protection.

Keywords: Beibu Gulf; ecological system dynamic model; primary production; nutrient budget; transport; flux

第一章 引言

1.1 研究背景及意义

海洋占据地球表面的 71%，是地球生命支持系统的一个基本组成部分（唐启升，2010），为人类提供了丰富的资源，对全球气候起着重要的调控作用，还对世界经济、政治格局和军事斗争产生着极其重要的影响和作用。我国海洋国土辽阔，海岸线长达 1.8 万公里，中共十八大提出“建设海洋强国”的战略目标，将海洋开发、利用和保护上升至前所未有的战略高度。

海湾是海洋的重要组成部分，是洋或海延伸进入大陆且深度逐渐减小的水域。它具有独特的地理环境、优越的自然条件和丰富的海洋资源，是海洋开发的重点。尤其是半封闭海湾，水域宽广、风浪小，且水下地形平坦，滩涂缓慢淤涨，不仅是水产增养殖业、港口航运、围涂造地以及建设潮汐发电站的理想场所，更是人类赖以生存、可持续发展的重要区域。由于海湾的海洋环境具有边缘性和过渡性，融合了海、陆两个系统的物质、能量和理化特性，受到海洋和陆地的扰动频率高，生态环境具有潜在的不稳定性、脆弱性和易变性，同时由于水体的运动特性，使得各种资源关联性极强，相互影响，彼此制约，极易导致环境恶化和资源受损（许建平，1999）。

海湾资源的综合开发利用，在我国开发利用海洋资源活动以及国民经济发展中都占有特别重要的地位。随着海洋经济的深入发展，海湾资源的多样性与丰富性、自然条件和区位条件的优越性，促使人们对海湾开发与利用的热情越来越攀升：大型港口的建设、临海工业基地的形成、海洋养殖基地的形成与发展……都体现了海湾开发在国民经济发展中的重要地位（张云等，2012）。然而，在海湾开发利用取得了巨大成果的同时，一系列资源和环境的负面效应日益显现：水体污染严重、海湾面积减少、生态环境恶化、有害赤潮频发、渔业资源急剧衰退、生物多样性大量减少等，使得海湾的环境服务功能和可持续利用功能严重减退，阻碍了我国海洋经济的稳定发展（张云等，2012）。因此，探索认知海洋、科学合理地开发利用海洋，是建设海洋强国的先决条件和必然选择。

传统研究海洋生态系统的方式是现场调查、卫星遥感和理论分析。早期的海

海洋生态系统研究以海洋生物学、海洋化学为基础,通过现场观测调查研究各海区的生物种群及密度分布、营养盐分布、生物种间的相互作用等,现场观测实验数据为海洋现象解释、机理研究、模型验证提供了借鉴保证,但对人力物力的要求较高,且存在调查时段和范围等因素的限制,难以获得时间、空间上同步的数据;随着遥感技术的发展,卫星遥感被应用于长期的、大范围的海表叶绿素的观测,在一定程度上弥补了现场观测的不足,但也受到天气、云量等影响,使得遥感数据的连续性受到限制;而理论分析虽试图通过数理方程组表达海洋生态系统的物理规律,但由于影响系统的理化因素和生物特征十分复杂,只能获得一些简化的理想状态的解析解。

今天,以理论分析为指导,以现场观测的客观数据和卫星遥感资料为支撑,借助强大的计算机技术,耦合了物理—生物—地球化学过程的海洋生态系统动力学数值模型成为量化描述和预测海洋生态系统的有效工具之一,将海洋各学科研究有机联系起来,对海洋环境中的物理、化学、生物、地质的相互作用过程和机理进行系统描述,为评估海洋生态环境状况、揭示海洋生态系统的循环机制、模拟和预测其平衡和演变,提供可靠的科学依据(陈长胜,2003)。

北部湾是我国重要的半封闭海湾,具有丰富的岸线资源、渔业资源、旅游资源、石油资源、淡水资源等,被誉为我国“最后的洁净”,同时拥有“最具生物多样性的湾区”和“重要的黄金渔场”等特有的自然生态优势,是全球生物多样性保护的重要地区,同时也是我国沿海地区规划布局新的现代化港口群、产业群的重要区域。在经济全球化和区域合作的加速推进下,我国于2008年成立了北部湾经济区。北部湾经济区是“中国—东盟自由贸易区”、“泛珠三角区域合作区”“海南国际旅游岛建设区”、“西部大开发”、“大湄公河次区域经济合作区”等国家战略的指向区域,是与东南亚地区开展区域经济合作的重要节点,是国家南海开发战略的前沿地带。随着《广西北部湾经济区发展规划》、《关于推进南海国际旅游岛建设发展的若干意见》和《珠江三角洲地区改革发展规划纲要》等系列国家发展战略的实施,北部湾经济区已经成为我国沿海经济发展的新增长极,同时也是整个东南亚经济发展最为活跃的地区。因此,北部湾生态环境质量的好坏,将直接关系到我国西南地区 and 南海沿海中长期生态安全格局和环境质量演变趋势(韩保新等,2013)。近年来,随着北部湾经济区开发不断深入,工业化、城

镇化进程持续加快,陆地排污逐年增加的影响和海水养殖业自身污染得不到有效控制,致使近岸海水富营养化严重,赤潮发生频繁,对北部湾生态环境造成严重威胁,保持这片“洁海”的难度越来越大。因此对北部湾生态系统,尤其是最基本的生态系统的结构功能与机理响应的研究具有非常重要的意义,对我国北部湾经济发展、资源开发和生态环境建设保护等,体现出重要的科学价值。

目前关于北部湾生态系统的研究多通过海洋现场观测调查,采用叶绿素、初级生产力、营养盐等生态要素开展分析研究,在时间和空间上还存在一定的局限性和不完整性,对于北部湾生态系统对海洋环境及气候系统的响应过程与机制尚缺乏全面系统的研究分析手段。本文拟通过利用历史观测资料、卫星遥感资料,以及数值模型分析,尝试从较为系统的研究角度分析北部湾生态系统的季节性时空分布特征及其对环境变化的响应过程,在一定程度上加深对北部湾生态系统的结构功能与响应机制的认识,祈望其可为北部湾的可持续发展、中越两国合作合理开发利用和科学管理北部湾资源、北部湾海域管理和泛北部湾经济开发区的发展策略制定提供科学基础依据。

1.2 研究现状

1.2.1 北部湾自然环境概况

北部湾,旧称东京湾,英文名 Beibu Gulf, Tonkin Gulf 或 Gulf of Tonkin,位于南海西北部,地理位置为 105°E-110°E, 17°N-22°N,东面为海南岛和雷州半岛,北面为广西壮族自治区,西面到越南东部沿岸,南面紧接南海,通过南部湾口与东部琼州海峡与南海相连,面积近 13 万平方公里,是我国最大的半封闭海湾之一。北部湾全部位于大陆架内,陆架宽约 130km,平均水深 46m,属于大陆架上一个浅海湾。湾内地形平坦,具有北高南低,东高西低的趋势,水深由岸边向湾中部逐渐加深,最大水深不超过 100m,坡度约为 0.3‰,近湾口处水深变化剧烈,部分区域陡增至 1000m 以上。水深地形图如图 1-1 所示,沿岸的红色点代表河流入海口。

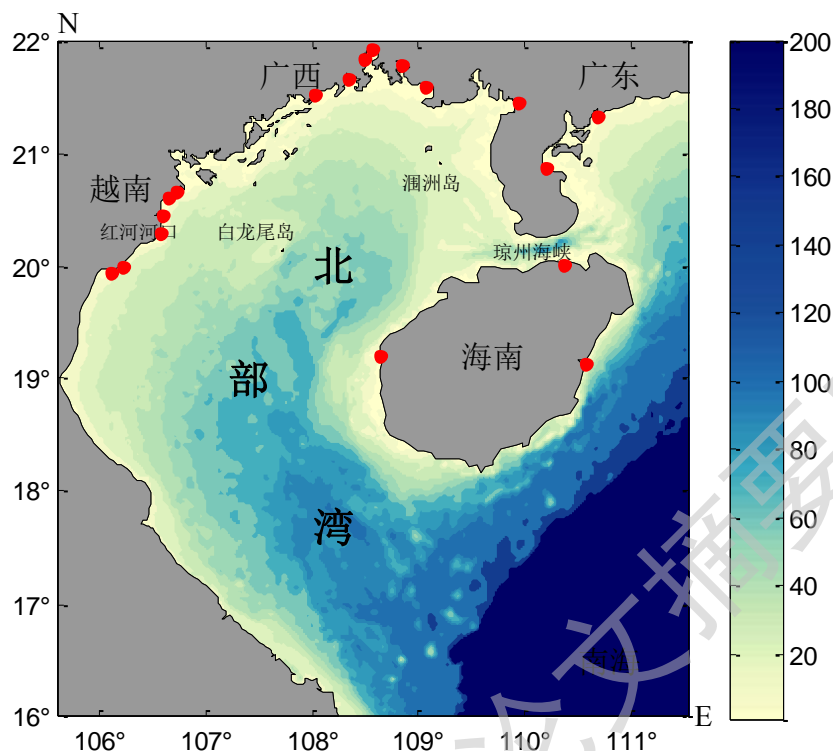


图 1-1 北部湾水深地形图

Fig. 1-1 Bathymetry chart of Beibu Gulf

北部湾地处热带和亚热带，长年受季风作用，冬半年盛行东北季风，海面气温约 20℃，夏半年则盛行西南季风，海面气温高达 30℃，东北季风期长于西南季风期。年平均水温高达 24.5℃，全年雨量充沛，5~9 月份为雨季，月平均降水量在 100mm 以上，且时常受到台风袭击，每年约有 5 次台风经过这里。

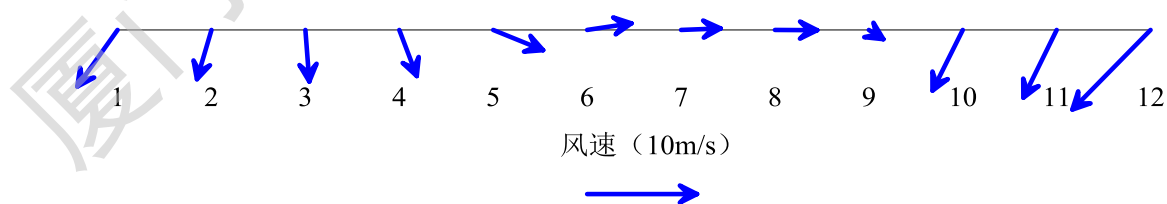


图 1-2 北部湾 2014 年区域平均风矢量图

Fig. 1-2 Monthly area-averaged wind vector in Beibu Gulf in 2014

北部湾海岸线蜿蜒曲折，港湾众多，沿岸有众多中小型河流注入：北部广西沿岸较大的常年性河流有南流江、大风江、钦江、茅岭江、防城河和北仑河；西

Degree papers are in the “[Xiamen University Electronic Theses and Dissertations Database](#)”.

Fulltexts are available in the following ways:

1. If your library is a CALIS member libraries, please log on <http://etd.calis.edu.cn/> and submit requests online, or consult the interlibrary loan department in your library.
2. For users of non-CALIS member libraries, please mail to etd@xmu.edu.cn for delivery details.